

零流量工艺在真空渗氮炉中的应用

■ 赵小强, 刘香国

摘要: 零流量工艺是气体渗氮在不断演变和发展过程中的一个新技术, 与传统的渗氮工艺相比, 可显著降低工业气体的消耗和废气排放, 更经济、更环保。零流量技术可以使渗氮装置和工艺更加简化, 可充分实现渗氮层形成的动力学控制。

关键词: 零流量; 节能; 动力学控制; 渗氮工艺

渗氮又称氮化, 是指(在一定温度下当炉内气氛达到一定要求的情况下)将氮原子渗入到金属工件表层, 使其表面形成一种能够提高零件表面硬度和渗氮耐磨性的一种化学热处理工艺。渗氮可以分为: 气体渗氮、液体渗氮和离子渗氮^[1]。本文主要介绍一种新型气体渗氮工艺——零流量气体渗氮。

根据不同工艺载体, 气体渗氮可以分为: 传统气体渗氮(100%NH₃), 可控气体渗氮(NH₃+DissNH₃或NH₃+N₂)和零流量技术渗氮(100%NH₃)。

1. 传统气体渗氮工艺

传统气体渗氮工艺由德国AFRY在1923年发表, 将工件置于炉内, 在500~550℃时将氨气通入到炉内, 保持20~100h, 使氨气分解为原子状态的(N)和(H), 是(N)与金属发生化学反应实现渗氮处理, 从而获得工件表面的高硬度, 良好的抗疲劳性能, 提高耐蚀性^[2]。通常渗氮

层的厚度为0.02~0.20mm, 表面硬度能够达到1000~1200HV。NH₃分解率取决于流量的大小与温度的高低而有所改变, 流量越大则分解率越低, 流量越小则分解率越高, 温度越高分解率越高, 温度越低分解率也越低, NH₃气在570℃时热分解如下:



分解出来的N, 随之扩散进入钢的表面。这种传统的气体渗氮工艺对于渗氮层深度的控制十分有限, 而且由于通入的是100%氨气, 生成的渗氮层由 $\varepsilon + \gamma' + \alpha$ 相叠加而成(见图

1)。通过多年的工业实践, 通常氮化表层的 $\varepsilon + \gamma'$ 相(通常极其厚且脆)在热处理完成后要被打磨掉, 增加了额外的生产成本。

2. 可控气体渗氮工艺

可控气体渗氮是在20世纪五六十年代推出, 与传统的通入100%氨气的工艺相比呈现出很多的优势。可控气体渗氮工艺采用氨气+裂解氨或氨气+N₂, 气体通过适当的比例组成和调节通入反应室, 可以得到所期望的渗氮层, 这里包括 $\varepsilon + \gamma' + \alpha$ 相,

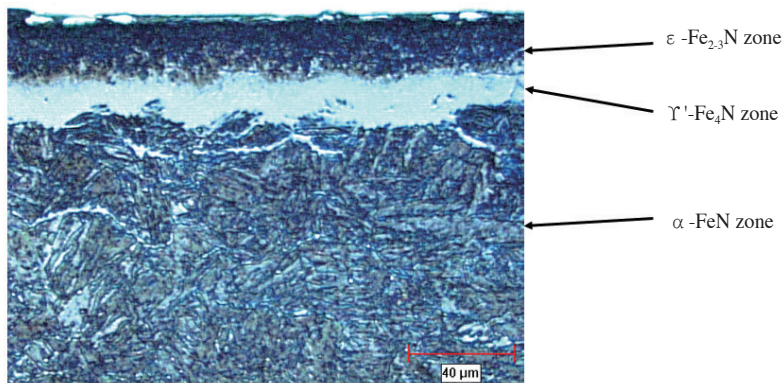


图1 渗氮层金相

$\gamma' + \alpha$ 相或 α 相, 并且在一定区域可以得到希望的渗氮层厚度; 渗氮层的组成由温度 T 和氮势 K_n 两个参数控制。图2是两种气体的渗氮工艺。由于渗氮层可以控制, 能避免渗氮层的缺陷产生, 从而省略热处理后对 $\varepsilon + \gamma' + \alpha$ 相渗氮层进行打磨的工序, 降低了生产成本。然而, 这种采用两种成分气体的渗氮工艺和传统工艺一样对气体的消耗量也是相当大的。

此外, 这种工艺还存在其他的弊端。由于氨气 NH_3 + 氮气 N_2 的渗氮工艺存在氮化不平衡特性, 使其比氨气 + 裂解氨的渗氮工艺在渗氮层生成控制精度要差一些。但是, 使用氨气 + 裂解氨需要安装氨气裂解器, 也会增加额外成本。

3. 零流量渗氮工艺

零流量渗氮工艺是经过多年实践开创的一个新技术, 所谓的零流量是指在可控渗氮过程中只使用氨气一种工艺气体。与氨气 + 裂解氨或氨气 + 氮气的工艺相比, 零流量更为简单。通过调节进入渗氮室氨气的流量来控制渗氮过程中的氮势 K_n , 零流量工艺独特的先进性就在于渗氮过程中在某一时刻进入渗氮室的氨气流量为零, 这一点扩大了渗氮室中气氛成分的分解范围, 也就是增加了氮势 K_n 。

零流量简单控制原理就是通过气体分析仪设定的目标来控制氨气注入阀周期性的开关来维持渗氮室内需要的气体成分, 也就是氮势 K_n 的设定值。

零流量这个概念是基于实践

和理论而得出的, 通过在试验室使用石英管渗氮试验设备和在工厂使用带有金属壳体渗氮室, 并配有循环风机的真空渗氮炉中进行试验。在两种渗氮环境中分别使用氨气 (零流量), 氨气 + 裂解氨和氨气 + 氮气三种工艺气体对样件进行渗氮处理。

通过在这两种试验设备中进行试验得出的数据表明, 渗氮层的生长速度只取决于渗氮室中的气体成分或氮势 K_n , 即与注入渗氮室中的工艺气体 (氨气、氨气 + 裂解氨或氨气 + 氮气) 无关, 也与渗氮环境无关。这个试验也证明在真空氮化炉中进行零流量渗氮过程中, 周期性地切断氨气的注入, 对渗氮层的生长不会产生影响。

图3是零流量渗氮工艺的工艺图, 从这张图中可以反映出温度、氨气流量和氮势 K_n 的关系。工艺过程中有两个阶段:

第一阶段, 将一定量的氨气通入到真空渗氮炉, 使渗氮室内的气氛组成达到设定的一个值, 从而氮势也会迅速升高。

第二阶段, 从图2中可以看到, 渗氮过程中氨气的流量周期性变为零, 这是因为渗氮室内的气氛组成达到设定值后, 氨气控制阀就周期性自动关闭。在这个阶段, 氨气的注入量迅速下降从而导致氮势 K_n 减小, 这是我们所希望的。因为氮势值 K_n 通常采用分段控制, 初期用高氮势, 增加表面含氮量, 中后期降低氮势, 使表面高氮向心部扩散, 减少表

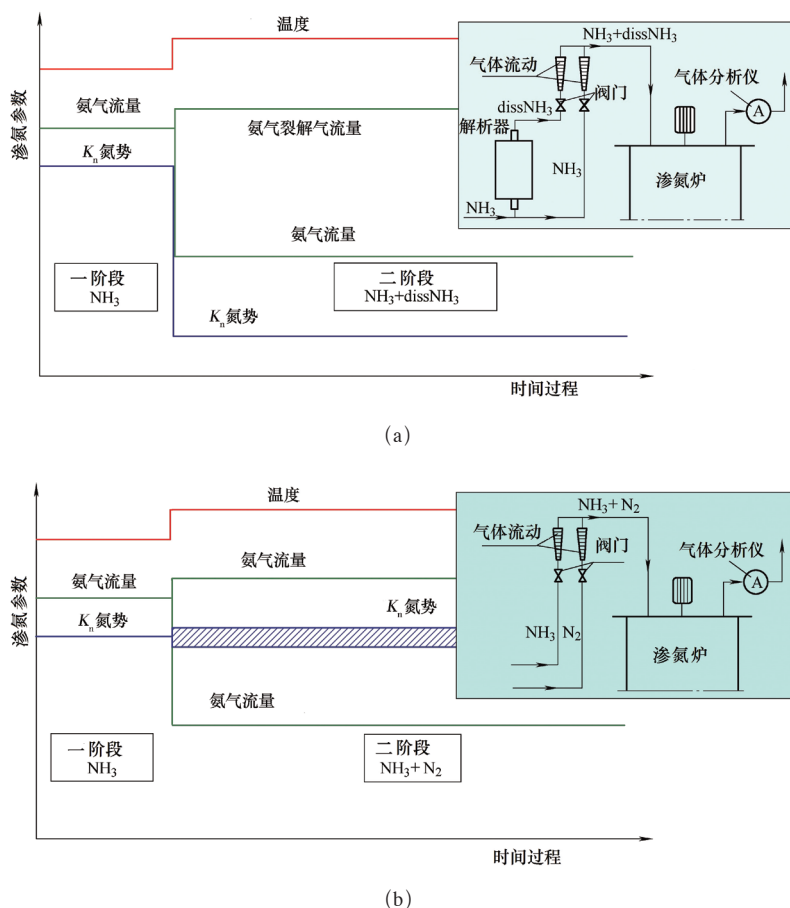


图2 气体渗氮工艺图

面高氮白层的厚度，避免形成网状氮化物^[3]。

从图3中也能看出，相比于其他可控气氛渗氮工艺，零流量工艺更为简单，只需在设备上安装一个氨气注入控制阀和气体检测仪器，通过检测仪器来检测渗氮室内的氢分压来控制氨气注入

的流量，从而实现对氮势 K_n 的控制和渗氮零件表面的渗氮质量，得到所希望的金相。

西科沃克公司在真空渗氮炉中分别试验了零流量、氨气+裂解氨，在530℃时得出了氮势 K_n 和气体消耗量的关系（见图4）。可见在获得同一氮势时，

零流量工艺对于氨气的消耗量比氨气+裂解氨要少很多，从而节约成本。

图5是西科沃克公司在真空渗氮炉中对活塞环进行零流量渗氮处理的检测结果。不但渗氮层的深度满足了客户的需求，且硬度高于要求指标。

4. 结语

零流量工艺渗氮技术和可控气氛渗氮技术（ $\text{NH}_3+\text{NH}_3\text{diss.}$ 或 NH_3+N_2 双组分气氛）相比能得到同样质量的渗氮层，工艺过程中通过调节通入渗氮室的氨气流量来实现气氛组分，并能够通过脉冲方式阶段性关闭流量来达到和 $\text{NH}_3+\text{NH}_3\text{diss.}$ 气氛一样的控制精度，而且零流量渗氮工艺与可控气氛渗氮技术相比显示了其耗气量低、装备简化，以及控制系统成本更低的优点。在渗氮层生成控制方面，比可控气氛渗氮更为容易。

参考文献

- [1] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册：第一卷工艺基础[M]. 北京：机械工业出版社，2008：342-350.
- [2] ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating[M]. 1991, 8: 387-425.
- [3] 赵茂程，潘一凡，陆荣鉴. 气体渗氮中氮势控制[J]. 热加工工艺，2005，5：31-32.

作者简介：赵小强、刘香国，西科沃克瑞泰克热处理设备制造（天津）有限公司。

MW 20161219

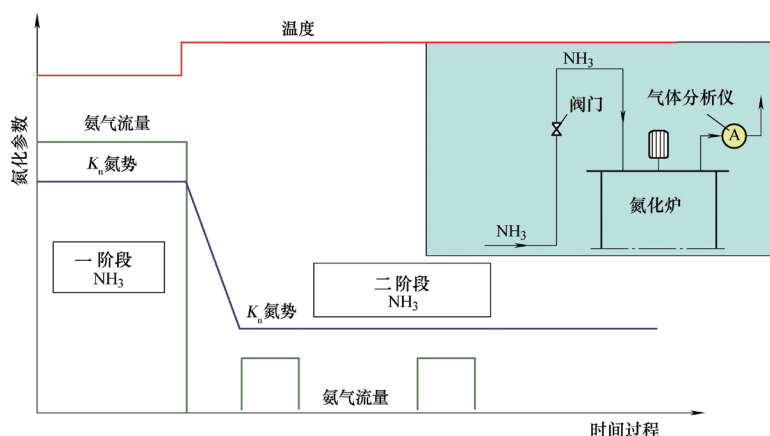


图3 零流量工艺渗氮工艺

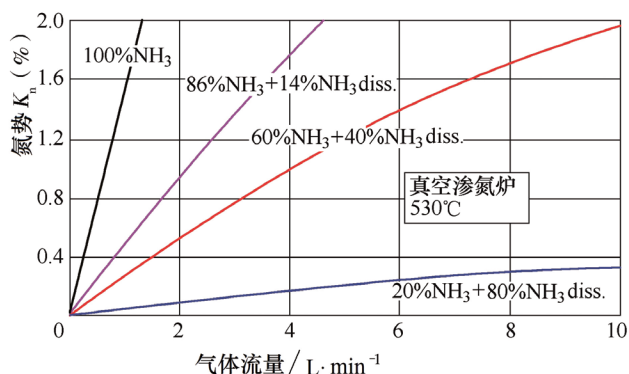
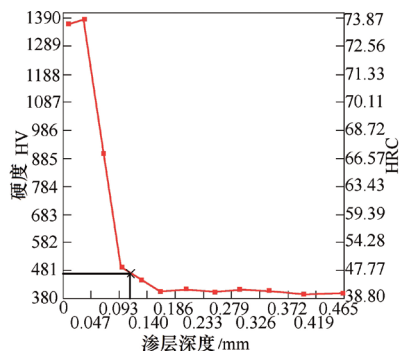
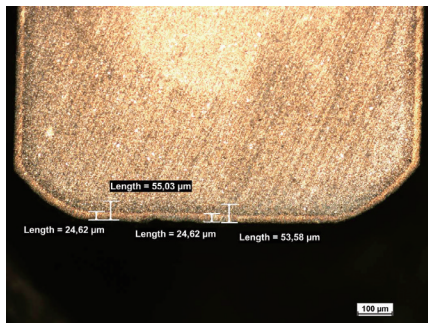


图4 氮势与不同工艺气体流量的关系



(a)



(b)

图5 活塞环检测数据